

MODIS EVI/NDVI alapú monitoring erdőterületeken 2000–2017 között a klímaváltozás földrajzi hatásának kimutatásában

Kovács Ferenc – Gulácsi András

DOI: <https://doi.org/10.30921/GK.70.2018.5.3>

1. Bevezetés

A klímaváltozási hatások, területhasználati változások földrajzi kérdései is közrejátszanak abban, hogy a környezeti monitoring rendszerek egyre nagyobb tér-, idő- és spektrális felbontásra törekcszenek. Az Alföldön regisztrált klímaváltozás nem átmeneti jelenség és a biomasza-produkció, mint a folyamatosan változó környezeti kondíciók funkciója még nem teljesen ismert, alátámasztott. A vegetáció klímaindikátor szerepe kiemelhető, változása visszahat az éghajlatra, szélsőségek és trendek jelzője, aminek távérzékelési megfigyelési módszertana hazánkban is alkalmazható. A trendszerű folyamatok mellett a számítások az éghajlati szélsőségek növekedését is előre vetítik, ezért indokolt a melegedés folyamatának, az aszályok kialakulásának és hatásának nagy időfelbontású, regionális/lokális vizsgálata. A tanulmány célja, hogy a klímaváltozás ismeretében megfigyelje és értékelje az egyik fő tájalkotó tényezőt, a vegetációt, azon belül is az erdőket érintő következményeket. A vegetáció változása indikátor, ami a klíma alakulását összekapcsolja a tájjal (Farkas et al. 2015), és a monitoring eszköz a változási küszöbérték meghatározásához. Ez hasznos, mert az extrém időjárási helyzetekkel sújtott területen a heterogén klímakondíciók mellett a felszínfedettség is heterogén. A földhasználatban a 26%-os erdősültség elérése érdekében 35 év alatt 600-750 ezer ha erdősítés várható (Nemzeti Vidékstratégia 2012–2020), miközben az erdei ökoszisztémák szerint hazánk a klímaváltozás által fokozottan veszélyeztetett régió (Mátyás et al. 2010).

Az erdők és a klímaváltozás kapcsolatát illetően a Nemzeti Erdőstratégiaiban, a Nemzeti Tájstratégiaiban a klimatikus viszonyoknak megfelelő fajfajok felhasználása szerepel és a klímaváltozással

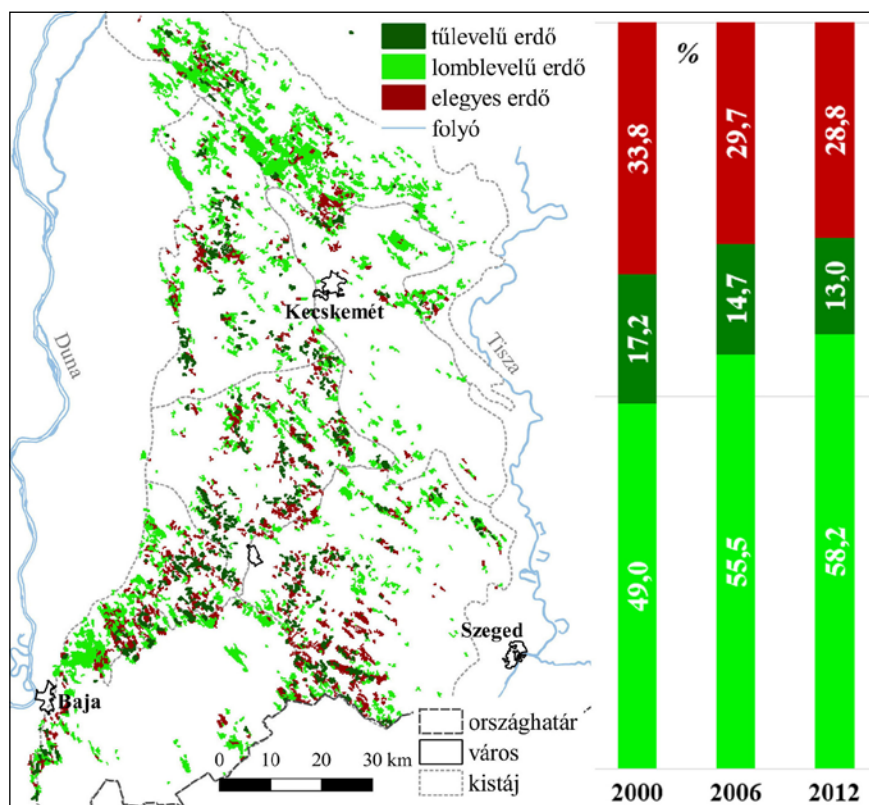
kapcsolatosan az erdőkárok mennyiségi növekedése is szóba kerül. A gyakorlatban kell csökkenteni a hatások mértékét, így annak számszerűsítése, területi lehatárolása, tervezésbe való bevonása csak megalapozott tér- és időbeli értékelésekkel valósítható meg.

2. A mintaterület lehatárolása és a vizsgálat tárgya

Síkvidéken a mezőgazdaság, a településhálózat miatt az erdők általában ritkábbak, ezért a klímaváltozás hatása nehezebben felismerhető, de a Duna-Tisza köze jó mintaterület a fásszáruak magas aránya és az intenzív erdősítés miatt. A rendelkezésre álló műholdfelvételek alapján a mintaterületi változások földrajzi értékelését az erdőterületek 2000–2017

nyári félévi monitoring vizsgálatával dolgoztuk fel; a 81–288. napok közötti időt értékeltük. Az általunk felhasznált, 250 m-es térbeli felbontású MODIS-szenzor által adott raszterhálón a CLC (Corine Land Cover) térképek (2000, 2006, 2012) alapján határoltuk le az erdőket. A nagyobb területeket érintő, természeti zavarás – szárazodás – megfigyelésére a kis felbontás alkalmas, a MODIS-szal változást mérő rendszerek foltmérete minimum 15 ha és az 1,5 ha-nál kisebb változás ezeken a felvételeken nem látszódik (Lunetta et al. 2006, Xin et al. 2013).

A lomb-, tűlevelű és elegyes erdőket külön térképezve a legalább 2/3 részben fedett pixeleket figyeltük meg ott, ahol minimum 3 pixel határol le egy foltot. Kijelölt celláink a CLC időpontok szerint a tényleges



1. ábra. A CLC 2012 alapján vizsgálatba vont erdőterületek és a 2/3 részben fedett erdős cellák megoszlása a CLC térképezési időpontokban a mintaterületen

erdők 71-85%-át jelentik (1. ábra). A CLC rétegekben jegyzett változások 2000–2006 között a vizsgált erdők maximum 1,5%-át, 2006–2012 között a 7-9%-át érinthetik. Teszt jelleggel csak az állandó lomblevelű erdőterületeket is vizsgáltuk, amely igazolta, hogy a területi változások nem befolyásolják a teljes adatsor szerinti eredményeket.

2.1. Környezeti probléma a Duna-Tisza közén: klímaváltozás és az erdő

A Duna-Tisza közén az utóbbi 30 évben +1,2–1,5°C a melegedés és hússzal-harminccal több nyári nap a jellemző (Lakatos et al. 2014), amely fokozottabb vízigényt von maga után (Blanka et al. 2014). A szárazodást jellemző „átlag feletti hőmérséklet, átlag alatti csapadék” együttes előfordulásának átlaga a havi adatok alapján a Duna-Tisza közén 2000–2017-ben 40%; sőt 2000–2003 és 2006.09–2009.09. között több, mint 60%. A helyzet súlyosságát az aszályt értékelő Pálfi-féle aszályindex (PaDI) fejezi ki, melynek 1961–1987-es 4,4–5,5-es átlaga 1988–2012-ben már 5,6–6,6 (Fiala et al. 2014). A víz funkció változása a talajvíz adatokon trendszerűen mérhető. A Duna-Tisza közére leírt talajvízhiány az 1960-as évektől mérve 9 km³ is lehet, amit egy-két csapadékos év középtáji léptékben

csak részlegesen tud visszapótolni (Rakonczai – Fehér 2015). A talajvíz-szint-süllyedésben 13-15%-ban az erdőterületek és azok növekedése is szerepet játszott (Szilágyi – Vörösmarty 1993, Völgyesi 2006).

A szárazsági határ eltolódásával optimális termőhelyi adottságú helyek kerülnek klimatikus határhelyzetbe, amihez az utóbbi 30 év aszályossága döntően hozzájárult (Móricz et al. 2011). A szignifikáns tavaszi csapadécsökkenés, az utóbbi évtizedekben egymást követő száraz nyarak hatására Rakonczai et al. (2012) szerint a biomassza-produkció és annak diverzitása is csökken. A Duna-Tisza közti szárazságot erősíti, hogy az erdők alatti talajok 98%-a gyengén víztartó, 2/3-a futóhomok! A klímahatás erőssége, a magassági viszonyok és az esővíz gyors beszivárgása miatt itt közvetlen a biomassza–csapadék kapcsolat. A Czúcz et al. (2008) szerinti a táji, természeti tőke index a túlevélű erdőknél átlagosan 7,7% (max. 32), a lomblevelűeknél 5,8% (max. 28), elegyes erdőknél 7,1% (max. 32) (2. ábra).

A fák fenofázis-elcsúszására jellemző, hogy erdeink 20%-át adó fehér akác virágzása a 90-es évekre már csak május végéig tartott és 1952–2000 (valamint 1984–1997) alapján 1,9–4,4 nap/dekáddal változott (Varga et al. 2012, Hunkár et al. 2013, Szabó et al. 2016).

3. Alkalmazott módszertan

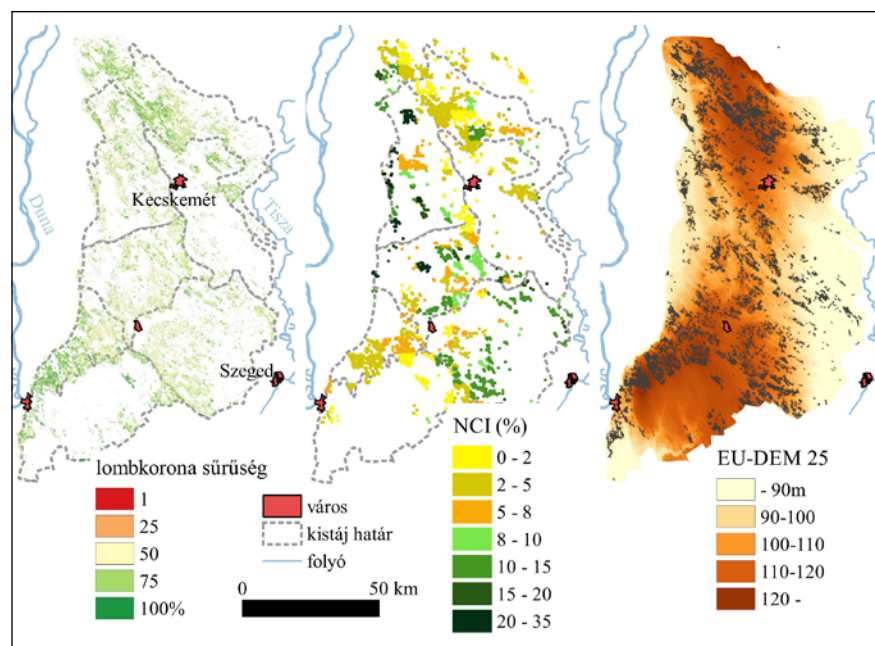
3.1. Multispektrális alapadat és termék

A regionális léptékű megfigyelések fő távérzékelési adata ma a MODIS. A fenológiai folyamatok megkívánnák a két hordozó (Terra, Aqua) együttes használatát, de adott vizsgálat-hoz általában egyet használnak és a reflektancia korreláció a Terra esetében jobb (Kristóf et al. 2007). A MODIS MVC (Maximum Value Composit) a 8–16 napos periódusokban a cellához az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) maximum érték által prezentált pálya szerinti reflektanciát párosítja. A 8-16 napos periódusok legnagyobb NDVImax értékét és ezáltal a pixel reflektancia értékét az adatminőségi vizsgálat után kapott 5-10 kép közül a kisebb látószögű cella szerint határozzák meg. A kompozit pixelének 87%-a a ±30°-os látószögű tartományban van (Solano et al. 2010). Vizsgálatunkban a MOD13Q1, 16 napos, 250 m-es felbontású kompozit termékét használtuk. A képfeldolgozás miatt a kompozit közelebb áll a terepi adatokhoz, mint a napi reflektancia adat (Hmimina et al. 2013).

A pixel alapon elérhető minőségi adatok (MOD13Q1 QA) szerinti részletes ellenőrzést programozási megoldásokkal hajtottuk végre, amivel országos átlagban 75% érvényes pixelértéket kaptunk (Kovács et al. 2017). Ha a leválogatott erdős cellák minimum 80%-a elemzésre alkalmas, akkor 18 év 468 képi értékből álló idősorának 95%-át értékelhetjük (1. táblázat). A nyári félévet jellemző 13 kompozitnál 6 darabra jellemző a hiánytalan adatsor, illetve maximum két rossz időszak van egy nyári félévben. Az éveket tekintve 11 év adatsora hiánytalan és itt is maximum két rossz időszak fordul elő egy évben. A 80%-nál kisebb, de 60%-nál nagyobb értékű időpontok képeit korlátozottan vettük figyelembe.

3.2. NDVI és EVI, mint általánosan használt vegetációs indexek

A '70-es évek óta a spektrális vegetációs indexek (VI) biztos értéket adnak a kvantitatív elemzéshez; a vegetációs információ legalább 90%-a mérhető



2. ábra. A Duna-Tisza közti erdőterületei (HrL, Czúcz et al. 2008, EU-DEM 25 alapján)

A MOD13Q1 erdő cellák teljessége (2000–2017)

(szürke cella: adathiányos idő, világoszöld cella: korlátozottan elemezhető idő,

sötétzöld cella: jó minőségű és elemezhető idő, fehér cella: tökéletesen elemezhető idő)

1. táblázat

MOD	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241	257	273
16 nap	03.22-04.06.	04.07-04.22.	04.23-05.08.	05.09-05.24.	05.25-06.09.	06.10-06.25.	06.26-07.11.	07.12-07.27.	07.28-08.12.	08.13-08.28.	08.29-09.13.	09.14-09.29.	09.30-10.15.
2000	<60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<80%	100%
2001	100%	>80%	100%	100%	100%	>80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2002	100%	100%	100%	100%	>80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<80%	100%
2003	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	>80%	100%	100%	100%	100%	100%
2004	100%	100%	100%	100%	>80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2006	100%	100%	100%	100%	<80%	100%	100%	100%	<80%	100%	100%	100%	100%
2007	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2008	100%	100%	<60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2009	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2010	100%	100%	100%	<60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	<80%	100%	100%
2011	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2012	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2013	<60%	100%	100%	100%	~60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2014	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	>80%	100%	100%	100%	100%
2015	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2016	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2017	100%	100%	<60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

így és a megfelelő léptékben, a zavaró hatások ellenére – normalizációval – jól leírják a vegetációt, a terepi mérésekkel jól korrelálnak (Bannari et al. 1995, Solano et al. 2010). A VI célja növelni a vegetáció válaszát és minimalizálni a talajvilágosságot, a talajszínt, az atmoszférát, az árnyékot és a nedvesség-tartalmat. Empirikusan meghatározott értékhatárok jellemzik. Jó indikátor, igaz a multispektrális alapú táji fenológia más, mint az ökológiában gyakori, egyedi karaktert jellemző fenológia. A vegetációs karakterrel jellemezhetjük a mezőgazdasági aszály szintjét, de kimutathatók közvetett környezeti hatások (erózió) is. A talaj-vegetáció-atmoszféra rendszer leírására törekedve empirikus úton más-más súlyokkal szorozták meg a sávok reflektancia értékeit; ilyen az első generációs Green Vegetation Index, amely a LANDSAT MSS és TM sávjaire is számítható (Bannari et al. 1995). A különbségre alapuló indexek használata nem feltétlenül gond, de a normalizált változatok pontosabbak, operatíván használhatók. A második generációs indexek által figyelembe vett háttérzajok közepes (40–60%) vegetációnál erősebbek (Huete et al. 2002). Vegetációmonitoring vizsgálatunkban

a MOD13Q1 NDVI és EVI (Enhanced Vegetation Index) értékeket használtuk.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + C_1) \quad (\text{Rouse et al. 1974})$$

$$\text{EVI} = G * (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + C_1 * \text{Red} + C_2 * \text{Blue} + L) \quad (\text{Liu és Huete 1995})$$

NIR: közeli infravörös, Red: vörös, Blue: kék hullámhossz-tartomány, $L=1$, $C1=6$, $C2=7,5$, $G=2,5$

Az NDVI index alkalmas az erdőterületek lehatárolására, de a nyári félév kezdetén túl, a végén pedig alábecsülhet. A sok biomaszával bíró erdőterületeken tendál a telítettség felé (Huete et al. 2002). A lombzat alatti résznek köszönhetően (amely a vizsgált mennyiség 14%-a is lehet) lehetséges a korábbi kizöldülés és ezért stabil a VI maximum lombhullatáskor. Felszíni heterogenitásra mutatott érzékenysége miatt érdemes leválogatni a mintaterület növényzetét. A MODIS-adatoknál előny a keskenyebb vörös hullámhossz-tartomány, de az atmoszférikus korrekció hibái a reflektancia 1,5–5%-át tehetik ki, ami a dús vegetációnál okozhat nagyobb eltérést, míg a kalibráció 1,8% bizonytalanságot okoz (van Leeuwen et al. 2006). Ahl et al. (2006) +/- 0,04-es elfogadható MODIS NDVI hibával is kalkulál, ami a kis értékváltozásokat

mutató adatsorban fontos paraméter lehet.

Az AVHRR szenzor NDVI termékének a helyét a MODIS EVI és levélfelületi index (LAI) adatai vették át (Ahl et al. 2006). Az EVI pontos a biomasza-termék értékelésénél, mert a dús vegetációnál az NDVI és a klorofill-tartalom kapcsolata nem lineáris az indexértékek telítődése miatt. Az EVI magas biomasza esetén is jól használható. A kék hullámhossz-tartományú reflektancia a pixelen belüli részleges felhőborítás és légköri aeroszol-tartalom miatt magasabb lehet és nagyobb aeroszol-koncentráció nagyobb különbséget okoz a sávok között; így ezzel a hullámhosszal javítva az index stabilabb. Pontosabban becsüli a lombzat borítottságát, fajtáját, állapotát (Solano et al. 2010). Az óriási adatbázisban az éves, évszakos változás-változékonyság megkülönböztethető. Érzékeny az erdőtipusokra; a túlelű és a lombos erdő EVI között 1,5-szeres az eltérés. Hangsúlyosabb a csökkenés a levélesztés idején. Az 500 és 1000 m-es, 16 napos MVC VI a látószög és atmoszféra összetételével kapcsolatos érzékenység figyelembe vételével jól becsül, adatai még a sokkal jobb felbontású légi-felvételével

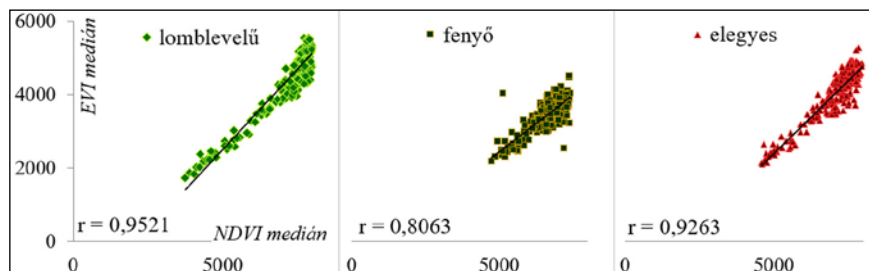
is összeegyeztethetők (Huete et al. 2002). Az EVI simább, szimmetrikusabb évszakos profilú, jobban definiált csúccsal, értéke az NDVI-nél alacsonyabb, ami előny a telítettség kiküszöbölésében. A kétféle VI erdőknél általában nem korrelál, de mintaterületi értékeink ezt nem igazolják (3. ábra). A telítettségi problémát és az értéktartományt jellemzi, hogy az indexértékek füves-cserjés közötti különbsége – ahol az $EVI_{max} = 0,4$ és $NDVI_{max} = 0,7$ – az erdőknél lecsökken; $EVI_{max} = 0,8$ és $NDVI_{max} = 0,9$ (Huete et al. 2002). Az indexek kiegészítik egymást, így eredményesebb a változás-detektálás, a biofizikai paraméterek kinyerése. Az EVI előnyei ellenére (Li et al. 2010) erdős-cserjés területi vizsgálatának 32 napos MODIS MVC adatsorában például az NDVI volt pontosabb.

A standardizált anomália variabilitása kifejező az évek közötti vizsgálatban. Az eltéréseket pixelenként számoltuk 2000–2017 átlagának és szórásának ismeretében.

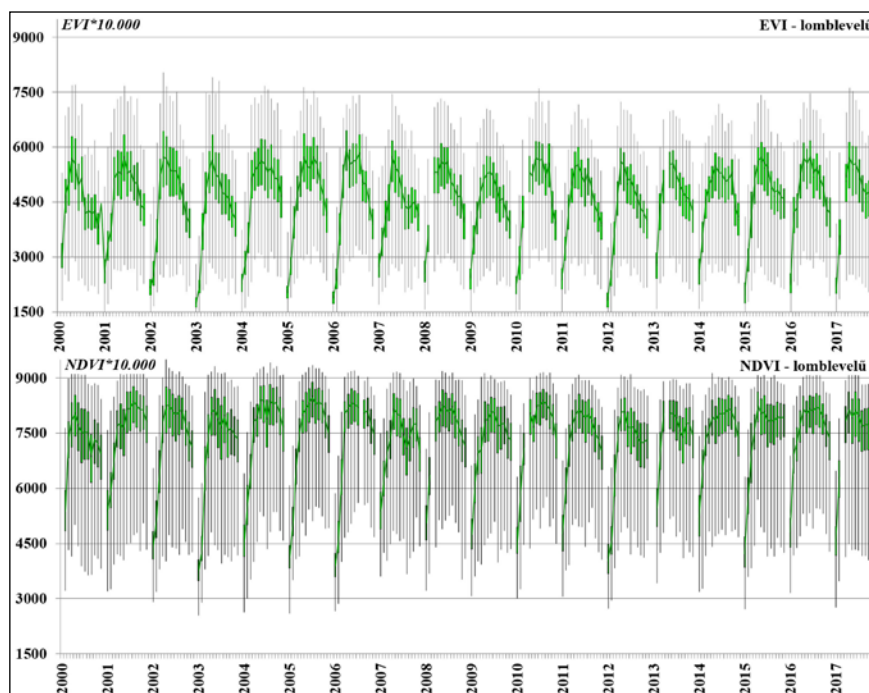
$$EVI_{standardizált} = (EVI_{ij} - EVI_{\text{átlag}}) / EVI_{\text{szórás}}$$

A különböző területhasználatokon (pl. szántó, rét/legelő, erdő) vizsgált standardizált anomália együtt fut a PaDI értékekkel és az aszályos éveket jellemző negatív eltéréssel határozza meg a mintaterületen (Ladányi – Blanka 2014). Az 500 m felbontású, 8 napos MVC alapján számolt spektrális indexek közül az NDWI (Normalized Difference Water Index) kapcsolata a legszorosabb a Pálfi-féle aszályindexszel (Gulácsi – Kovács 2018).

Napi mérésű MOD09 NDVI alapján a kizöldülés és a lombzat kiteljesedésének kezdete között 21 nap van, így a 16 napos MVC alul-, illetve felülbecsülheti a fenológiai állapotot (Ahl et al. 2006). Terepi és MODIS NDVI mérések közötti kapcsolat a lomblevelűeknél a kizöldülés és dúsulás időpontjaiban szignifikáns (Hmimina et al. 2013). Az index alapú modell inflexiók pontjai kevesebb, mint 1 hét eltéréssel illeszkednek a tavaszi zöldülés és az őszi sárgulás időpontjaira. A 16 napos MODIS 1,5–7 napos eltéréssel alkalmas a tavaszi NDVI görbe és az inflexiók pont megadására, mert előfeldolgozásuk megbízhatóbb a napi adatokénál.



3. ábra. EVI és NDVI értékek kapcsolata a Duna-Tisza köze erdőterületein (2000–2017)



4. ábra. Lomblevelű erdők EVI/NDVI nyári félév medián értékeinek alakulása (2000–2017)

4. Erdős vegetáció értékelése 2000–2017 között a Duna-Tisza közén

4.1. A vegetációs index idősorok jellemzése

A 2000–2017 közötti EVI adatsor az NDVI indexnél szabályosabb, a külső hatásokra érzékenyebb képet mutat, az évszakos variációkban feltűnnek a száraz és a vízben gazdagabb időszakok (4. ábra). A medián értékek jól mutatják az NDVI telítettségi problémát ($NDVI_{lomb} < 0,85$; $EVI_{lomb} < 0,59$). A lomblevelű és tűlevelű erdő közötti különbség az EVI indexnél általában 25% feletti, így a különböző vegetációkat jobban lehatárolja. A mintaterületi szárazodás ellenére a 2000–2017 közötti NDVI és EVI idősor (medián, minimum, maximum, összeg) nem mutat trendszerű változást, ami annak ellenére is érdekes, hogy tudjuk 18 év kevés a hosszabb távú változások

egyértelmű kimutatására. A trend elmaradásában szerepe van a 2013-tól erősödő biomassza-produkciónak (pedig 2013. és 2015. országosan aszályos évek). 2016 és 2017 általánosan a legmagasabb VI értékű évek!

Az adatok változékonyságát jellemzi, hogy adott hónapokban egy kedvező, esős év is rendelkezhet alacsony EVI értékkel. A 2010. év például a 18 év legalacsonyabb májusi végi – júniusi EVI_{lomb} értékét adja, ellenben a kedvezőtlen, aszályos 2003. és 2012. évek júniusi EVI_{lomb} értékei átlag feletti. $NDVI_{fenyő}$ esetében 2001 a legalacsonyabb értékű, míg az $NDVI_{elegyes}$ ekkor rendelkezik a legmagasabb biomassza-produkttal és az $NDVI_{lomb}$ szerint is ez a legjobb évek egyike. Ez a kettősség jellemző 2004., 2006., 2009. években is.

A legintenzívebb év közbeni változás a lomblevelű erdők tavaszi növekedése, amikor VI medián értékek május

elejéig akár +0,16–2,2-vel is nőnek egy-egy 16 napos időszak alatt. A kedvezően növekvő VI értékek egy kevésbé csapadékos – és általánosan melegebb – évben gyorsan lecsökkennek; pl. 2006. utáni 2007. évre. Az egyedülálló nedves évek (2010) magasabb, illetve aszályos évek (2015) alacsonyabb értékei nem kiugróak. 2003 és 2004, illetve 2012 és 2013 összevetésénél látszódik, hogy egy aszályos év alacsony értéke vízutánpótlás esetén gyorsan megnő, ez kb. 8–10%-os értéknövekedést jelent a lomblevelű erdők éves biomassza-termelésében. A tűlevelű erdőben a különbség vagy eltolódva tapasztalható, vagy nincs lényeges különbség.

A jelenleg 18 éves időszakból ki lehet ragadni hosszabb, különböző irányultságú időtartamot (ez is jelzi a folyamatos monitoring fontosságát); a biomassza-termelés összeg az erdők 2004–2012. évi időszakában trendszerűen csökkenő ($EVI_{fenyő}$ 2005-től), de az aktuálisabb 2009–2017 közötti időben növekvő. A maximum 5, egymást követő szárazabb év csökkenése rendszerint egy csapadékosabb év miatt áll meg, ami elég a fás biomassza-termelésnek, hogy hosszabb távon ne gyengüljön. Csökkenési időszakok $EVI/NDVI$ medián esetében: a rövidebb 2001–2003, a karakteres 2006–2009 ($NDVI_{lomb}$ esetében 2005–2009) és a 2010–2014-es időszak ($NDVI$ szerint inkább 2010–2013).

A lomblevelű erdők indexértéke a tavaszi időszakban (03.22–05.08.) a

2000–2006., 2007–2013., 2014–2017. éves csoportokat tekintve összesen 14–25%-kal is emelkedett (5. ábra). Ez igazolja a melegedés miatt egyre intenzívebb kiszáradást mérő és prognosztizáló elemzéseket (Szabó. et al. 2016). A klimatológia szerinti tavaszi szignifikáns csapadékcsökkenés elemzéseinkben nem látható. Az $NDVI_{lomb}$ esetében figyelhetők meg hosszabb, jellemző csökkenést mutató kritikus időszakok tavasszal (04.23.–05.08.) 2000–2006 között illetve a csúcsideszakban (06.26.–07.11.) 2006–2012 között. A tavaszi intenzitás nő, de a biomassza-termelés csúcs elérésének ideje – 05.25–07.11. között – és a lomblevelű termelékenység mennyisége általánosan nem változik. A csúcstérkép nyári eltolódása a fenyő- és elegyes erdők EVI értékeinél jellemző; a június eleje 2008-tól a későbbi júniusi és júliusi időszakokra tolódik. A 06.10.–07.11-ig terjedő időszakban a 18 év alatt jellemző a növekedés. A növekvő termelési értékkel együtt ezeknél az erdőtípusnál gyakoriak a stabil vegetációra utaló másodlagos csúcstérképek, ami nem támasztja alá a fenyők gyengülésére vonatkozó erdészeti előrejelzéseket (Mátyás et al. 2010).

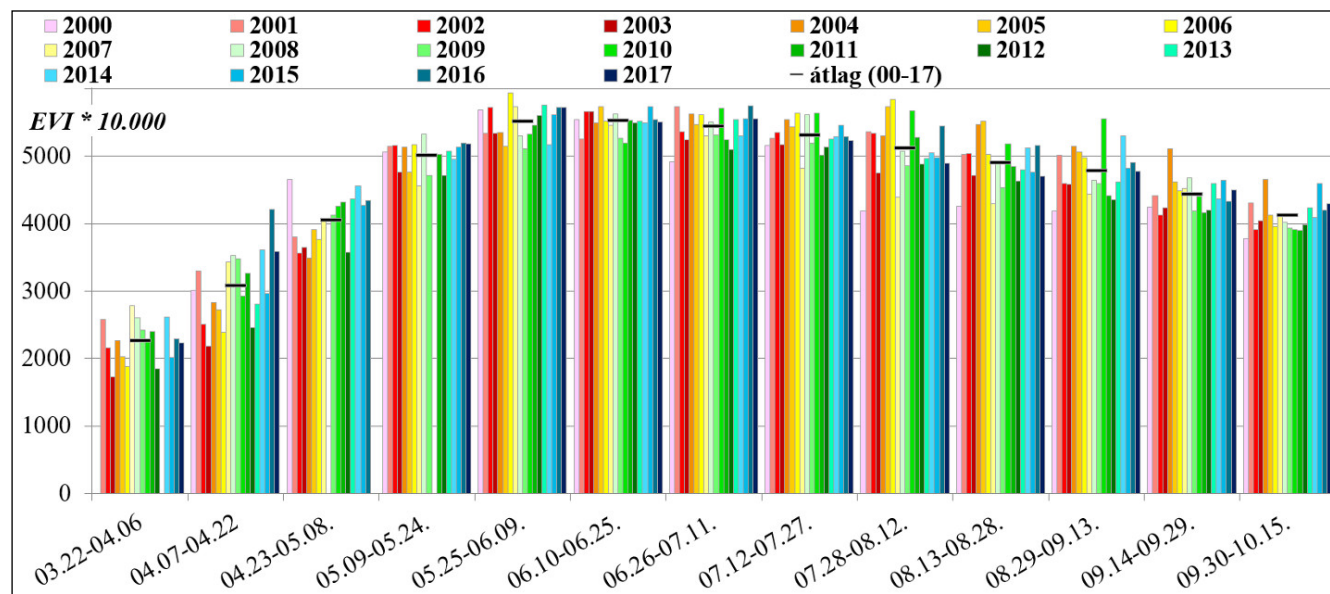
Az aszályos 07.12.–09.13. időszakokban jellemzők az egymást követő csapadékos/száraz évek közötti – akár 0,8–1,2-es VI medián – különbségek; vagyis a fásszerű vegetáció jól jelzi a környezeti változást; például 2000 és 2001, 2006 és 2007, valamint 2010 és

2011–2012 között. 2007-től a 07.28.–08.28. időszak is kritikus, mert – még az általában jobb VI értékű években is – inkább átlag alatti értékek jellemzők. Szeptember második felében (09.14.–09.29.) a lombos és elegyes erdő esetében is csökkenés jellemző 2004–2012 között. 09.30.–10.15-ei időszak $EVI_{elegyes}$ emelkedő értékei a növekvő tavaszi értékekkel együtt alátámasztják a teljes vegetációs periódus növekedését, amit Menzel et al. (2006) európai fenológiai megfigyelései során tapasztalt.

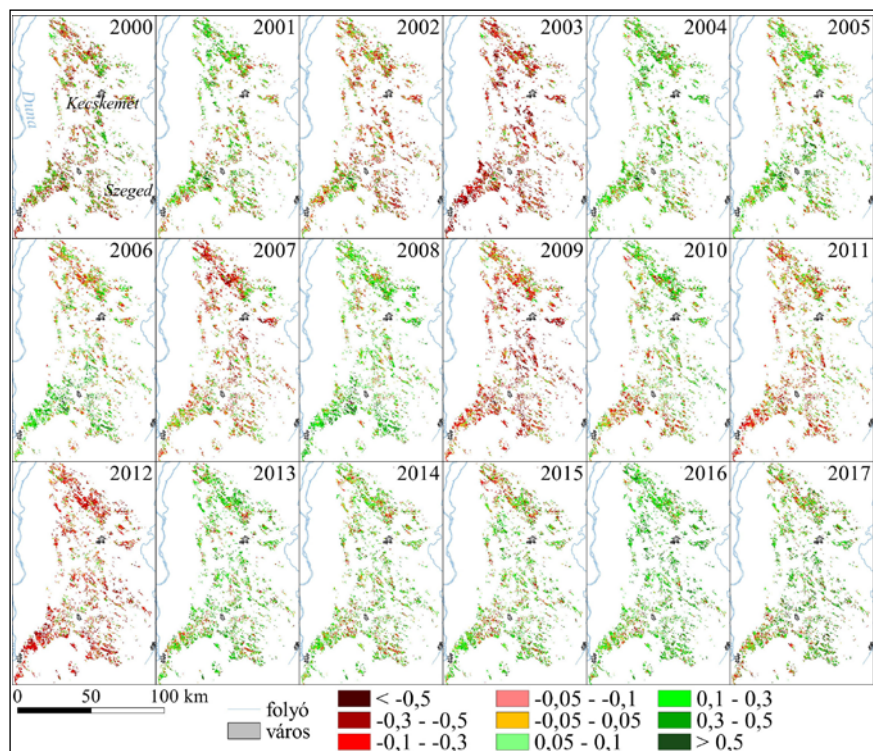
4.2. EVI átlagtól való eltéréseinek vizsgálat

A standardizált EVI pixelenkénti vizsgálata időben és térben is kijelöli a biomasszamennyiség-csökkenés miatt potenciálisan veszélyeztetett területeket (6. ábra). A tartós eltérések, veszélyeztetettség szintek a klímaváltozás hatására adott vegetációs válaszok, melyekkel megadható, hogy hol van szükség erdőgazdasági beavatkozásra. A vizsgált 2000–2017 között 7 db átlag alatti év van, így az átlag feletti száma több, de ezen eltérések mértéke például az elegyes erdőknél csekély, illetve térben nem általánosítható.

A standardizált EVI térképek alapján a három legjobb évnek 2004., 2008. és 2016. tekinthető. Aszályos éveknél feltűnő 2003., 2009. és 2012., amikor az egész mintaterület az átlagtól jelentősen elmaradó biomassza-termeléssel bír. 2000., 2002., 2007. és 2011.



5. ábra. Lomblevelű erdő EVI 16 napos időszakos medián értékek alakulása (2000–2017)



6. ábra. Standardizált EVI évenkénti térbeli eloszlása a Duna-Tisza közti erdők területén 2000–2017 között

évek is aszályosak, de az előbbi évekhez képest 35–40%-al kevesebb a negatív eltérés – ami egyben minősíti az aszályos jelleg extrémítását is – és több az átlagos és a pozitív eltérésű erdő. A térbeliség figyelembe vételével a fentebb jellemzett statisztikai értékelésnél hosszabb negatív trendű időszakok is kijelölhetők. A 2007–2012-es negatív időszak a Duna-Tisza köze déli és főleg északi területeinek átlagot el nem érő – piros színű – árnyalatait nézve akár 2006–2014/2015-re is bővíthető, így a 2013-tól jellemző emelkedő VI értékek a térbeli megoszlás alapján nem vonatkoznak minden területre. Elsősorban 2014., 2015-ben, de 2017-ben, mint átlagos és pozitív eltérésű években is több, térben koncentráltan megjelenő negatív érték figyelhető meg, elsősorban az északi és a déli kistájakon. A 2013. évtől jellemző produkció-növekedés (a jelentős növekedés részaránya a 35–40%-ot is meghaladja) közben például 2014–2015-ben a fenyőerdők csökkenésének aránya 40% feletti.

Érdekes, hogy 2010-ben, a legtöbb esőt adó évben jelentős térbeli különbségek láthatók. Az országos statisztikai adatsor szerint ekkor nem volt aszály, de az erdőknek több mint 30%-a negatív eltérésű. A legcsapadékosabb évet

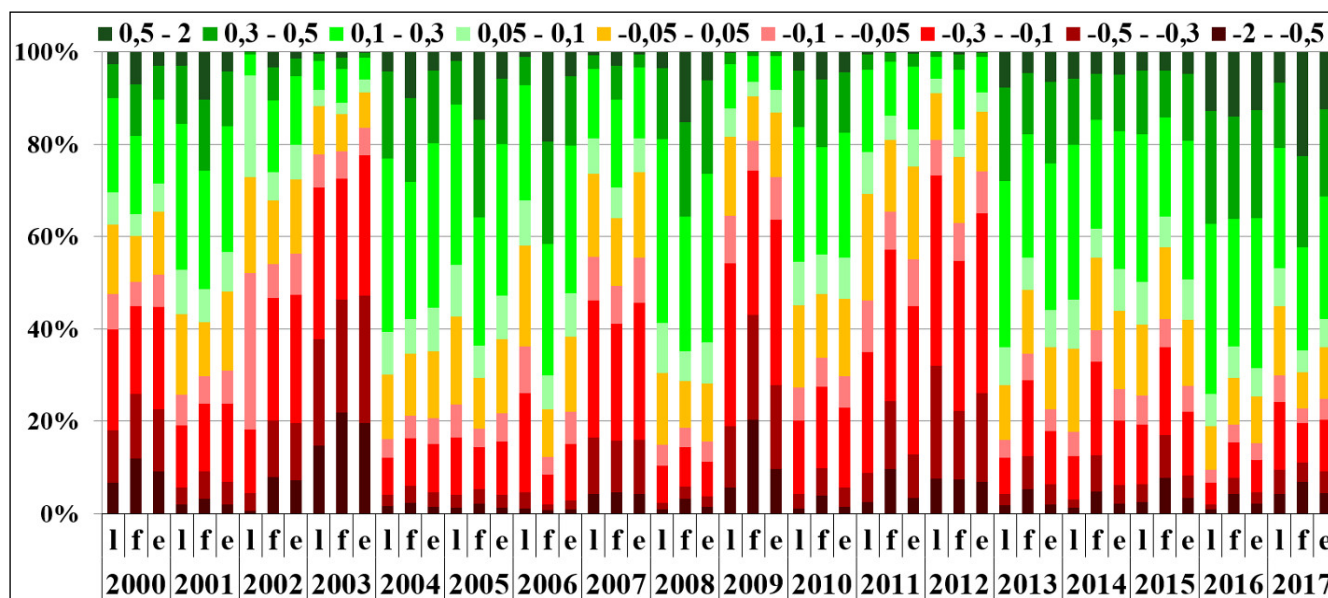
követő legszárazabb 2011. év jelentős mértékben visszaveti a zöldtömeget, a lomblevelű 27%-os negatív eltérése 46%-ra nő, míg ez az elegyes erdőnél 30%-ról 44%-ra, a tűlevelűnél 34%-ról 66%-ra emelkedik. A mintaterület déli részén az Illancson és a Dorozsma-Majsai-homokháton még 2010-ben is negatív eltérés jellemző, így a területen 2009–2012 között (kisebb foltokon 2013-ig) folyamatosan aszályos körülmények jellemzők. Eltérés-alapú számításaink során több aszályos év hatása nem mutatkozik meg. 2013., 2015. és 2017. egyébként aszályos években láthatók nagyobb negatív eltérésű területek, de 2013-tól a biomassza-produkció pozitív eltérése jellemző. A 2012. év hasonló mértékű aszálya az eltérés térképen még jól látható, de 2013-ra ez már nem mondható el. A fenyőerdő 40%-os negatív eltérése kiemelhető, de aszálynál inkább 70–80%-os eltéréseket tapasztalunk.

A 2000–2012-es standardizált EVI eltérés adatsor alátámasztja a Kárpát-medencében a közeljövőben fokozódó aszályok földrajzi hatását, de az utóbbi 5 évre ez nem jellemző (7. ábra). Az aszályos 2003., 2009., 2012. évek és az ezeket követő/megelőző dúsabb évek – 2004., 2008., 2013. – különbsége

szerint aszálykor az átlagosnál gyengébb biomassza-produkció a tűlevelű és elegyes erdőknél 4-szeresére (15–23%-ról 74–83%-ra), a lomblevelű erdőnél 5–6-szorosára nőhet (12–16%-ról 79–81%-ra). Látható, hogy az erdőterületek több mint 4/5-e is érintett az aszály által. Még a jelentősebb eltérést mutató (–0,1– –0,5) kategóriánál is jellemző a 4–5-szörös növekedés; lomblevelűnél 9–10%-ról 48–56%-ra. Egy-egy aszályosabb év hatása a fászszerű vegetációnál is gyors és drasztikus következményekkel jár, ami jelentős erdőgazdasági kockázatot jelent és alátámasztja a megfigyeléseket, melyek szerint a fák is kiszáradhatnak pár hét alatt. Egy, a negatív évet (éveket) követő csapadékos év is gyors és jelentős biomassza-produkció növekedéssel jár, még akkor is ha több, egymás utáni aszályos évet követ.

A standardizált éves eltéréseket a CLC térképezés szerinti 6 éves időszakokban összegezve (2000–2005, 2006–2011, 2012–2017), a folyamatos eltéréseket vettük figyelembe. A legaktuálisabb térképezési időszak kedvezőbb biomassza-produktum értékei mellett a lomblevelű 19%-a, az elegyes erdők 22%-a és a fenyők 29%-a érzékeny a környezeti hatásokra, a klímaváltozásra. A 2000–2005-ös időszak aszálygyakoriságán keresztül a klímaváltozás jövőbeni hatásaira a lomblevelűek 35%-a, az elegyes erdők 43%-a és a fenyők 39%-a érzékeny.

Az erdős vegetációt tekintve a negatív eltérések ismeretében aktuálisan a Pilis-Alpári-homokhát és az Illancs a klímaváltozás szempontjából legveszélyeztetettebb „hot spot” terület. Így erdőgazdasági szempontból északi részen a Csévharaszt-Felső-Tápióvidéki, a pusztavacsi és a nagyörösi körzetek, míg a déli részen a kiskőrösi, kiskunhalasi, bajai és Alsó-Dunamenti erdőgazdasági körzetek a legérzékenyebbek. A kiskunhalasi, bajai és a Csévharaszt-Felső-Tápióvidéki körzeteknél további kockázatot jelentenek a jelentős területeket elfoglaló tűzveszélyes erdők. A mintaterület részletezve a Pilis-Alpári-homokháton a lomblevelűek kedvezőtlen állapota a második térképezési időben tovább nőtt és a kedvezőbb 2012–2017-ben 100–170 hektáros (elegyes erdőnél



7. ábra. A standardizált EVI évenkénti megoszlása a különböző erdőtípusokon (2000–2017) (l: lomberdő, f: fenyő, e: elegyes erdő)

akár 250 hektáros) egybefüggő folton vannak jelentős negatív eltérések. Összességében itt van a legtöbb negatív eltérést mutató erdő a mintaterületen a vizsgált időszakba. Hasonló állapot jellemzi a szomszédos Pesti hordalékkúp-síkságra, Kiskunsági-löszöshátra, Kiskunsági-homokhátra átnyúló erdőket. A Kiskunsági- és a Dorozsma-Majsai-homokháton a lomberlelűk biomassza-termésként az aszályos időszakban szinte a teljes kistájon átlag alatti. Ezen területek a Bugaci-homokháttal együtt a sok kisebb erdőfolt méret miatt érzékenyebbek az aszályokra. Az Illancson a 2006–2011-es időszak után a nagyobb kiterjedésű lomberlelű erdőknél nőtt a negatív eltérés aránya. Az elegyes és a kisebb kiterjedésű tűlevelű erdők

aktuális 2012–2017 időszaki állapota a legaszályosabb 2000–2005 időszakhoz hasonló. A kistáj területén az általánosan pozitív értékeket mutató 2012–2017 között is nagyon jelentős negatív eltérés tapasztalható.

4.3. EVI és NDVI értékek validációja

Az EVI/NDVI értékeinket a CARPATCLIM adatbázisba készített 10 km-es felbontású, 2000–2010-es időközre rendelkezésre álló PaDI adatokkal vetettük össze (Szalai et al. 2012). A MODIS alapú erdős pixeleket tartalmazó PaDI cellákra lineáris regressziót, Pearson-féle korrelációt erdőkategóriánként külön számoltunk. A 2. táblázat szoros kapcsolatot mutat a 250 m felbontású VI értékek és az aszályindex

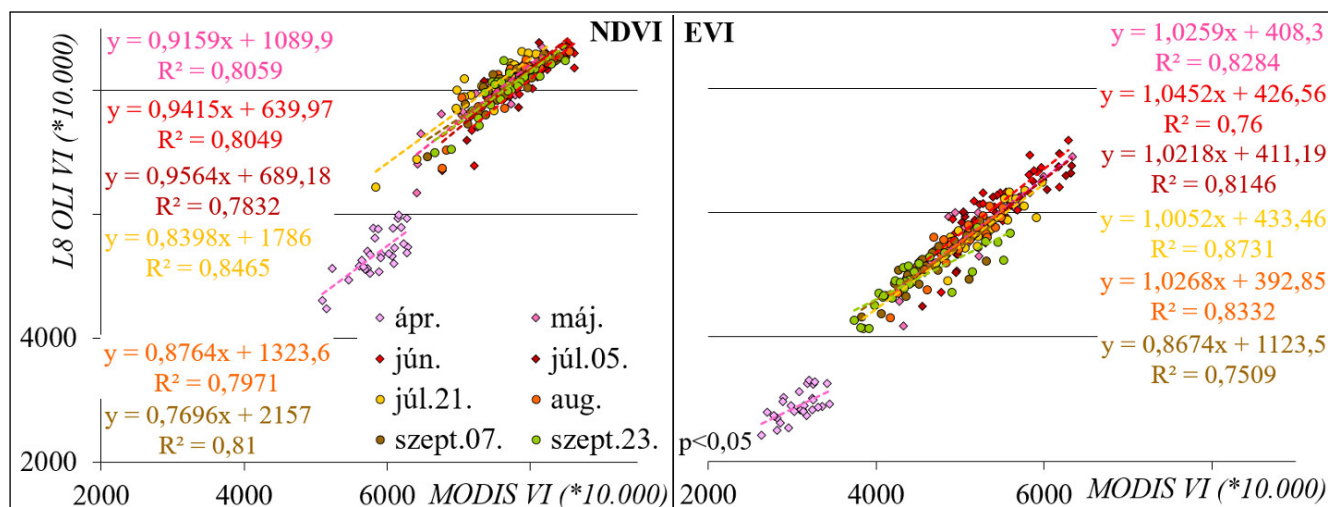
között, de érdekes, hogy a determinációs együttható mindhárom erdőtypusnál az NDVI esetében a magasabb és az elegyes erdőknél a legmagasabb.

NDVI és EVI kapcsolata PaDI értékekkel 2000–2010 éves átlagai alapján 2. táblázat

	NDVI~PaDI (R ²)	EVI~PaDI (R ²)
Lomberlelű erdők	0,76 ***	0,72 ***
Tűlevelű erdők	0,74 ***	0,72 ***
Elegyes erdők	0,85 ***	0,76 ***

*** p < 0,001

A különböző felbontási paraméterekkel, különböző hullámhossz-tartományokban készülő műholdadatok összehasonlításának módszerével is ellenőriztük az eredményeinket. A MODIS EVI és NDVI kompozit értékeket az egyedi időpontokra készült,



8. ábra. MODIS és OLI NDVI/EVI lomberlelű lineáris regresszió vizsgálat a 2015. évi nyári félévi adatok alapján

30 m-es felbontású, előfeldolgozott LANDSAT OLI EVI és NDVI mérésekkel vetettük össze 2015. nyári félévének 8 időpontjára. A 30 legnagyobb erdőfolttra vonatkozó értékeket mind a 8 időpontban összehasonlítottuk, ahol a determináltsági koefficiens értéktartományok alapvetően szoros kapcsolatra utalnak; $0,5546 < R^2_{EVI} < 0,8731$ és $0,2593 < R^2_{NDVI} < 0,8465$ (8. ábra).

Az időpontok felében az NDVI, felében az EVI kapcsolat szorosabb. A vegetációs periódusnak megfelelően az áprilisi jól elkülöníthetően a leggyengébb kapcsolat (pl. EVI_{lomb} szerint $R^2=0,3959$, illetve az $NDVI_{fenyő}$ esetében $R^2=0,2593$). A júliusban tapasztalt igen magas értékek szerint (EVI_{lomb} : $R^2=0,8731$) az ezen időpont felvételei hasonlíthatók össze a legjobban. Az $EVI/NDVI_{lomb}$ kapcsolat a többi nyári hónapban is szoros: $0,7214 < R^2_{NDVI/EVI} < 0,8465$. A determinációs együtthatók alapján a megfelelő minőségű, nagy időfelbontású, homogén felszínfedettségű MODIS adatok nagyon jól használhatók a regionális vizsgálatokra. A fenyő esetében a kapcsolat ennél általánosan gyengébb, de a statisztikai kapcsolat a nyári hónapokban, főleg az EVI indexet tekintve itt is szoros ($0,6033 < R^2 < 0,7572$). Ez az összehasonlító elemzés az EVI jobb használhatóságát, pontosságát igazolja.

5. Összefoglalás

Környezeti monitoring vizsgálatunk egyedi jellegét a nagy időfelbontású regionális elemzés adja, amelyet a minél pontosabb, homogénebb felszínfedettségű lehatárolás mellett a legnagyobb térbeli felbontás használatával értük el. Eredményeinket az adatok körültekintő előfeldolgozása is megalapozta. Az előfeldolgozás és elemzés módszertana eredményül szolgál az automatikus változás-érzékeléshez, amely az alkalmazott MODIS adatok esetén közel valós idejű monitoringot, így a gyakorlati alkalmazást is támogatja.

A lomblevelű, elegyes és tűlevelű biomassza-produktumra jellemző alapvető különbségek jelzik, hogy a folyamatok csak ebben az egy tájalkotó tényezőben is összetettek. A változékony vegetáció megfigyelésében a háromféle fásszárú vegetációt kétféle vegetációs indexszel vizsgáló elemzés adatai különböző

folyamatokat is mutatnak, a környezeti adatok ismeretében is meglepő értékeket produkálnak. A monitoring folytatásával a hosszabb idősor segít elkülöníteni a lassabb – klímaváltozás okozta – változásokat, a gyorsabb – erdőgazdasági – hatásoktól és pontosítja a változékony vegetáció megfigyelését.

A 2000–2017 közötti teljes vegetációs index adatsorokban az erdő biomassza-produktuma összességében nem mutat trendszerű változást. A klímaváltozás földrajzi hatásaként az extrém vízhiányos éveknek/időszakoknak az erdős vegetációban okozott befolyása az eltérések statisztikai és térbeli megjelenésével jól értékelhető. Ezek gyakoribb előfordulása már rövidebb idősorban is megfigyelhető biomassza-csökkenést mutat; például 2004–2012 között a lomblevelű erdőknél. Jól értékelhetők a vegetációs periódus egy-egy időszakára jellemző módosulások, mint a tavaszi intenzitás növekedése, vagy a nyári produktum változása.

Az évközi változások a közel két évtizedes időtávban jelenleg kiegyenlítődnek és évtizedes léptékben stabil állapotúak, de az erdők rövid időtartamon belül sérülékenyek. A változékonyságon látható a vegetáció környezeti hatásokra adott gyors válasza. A klimatológiai előrejelzések alapján a melegedés folyamata, illetve az extrém száraz, aszályos időszakok előfordulásának gyakorisága a közeljövőben fokozódni fog, ami tartóssá teszi a jelenleg még rövidebb időszakra jellemző biomassza-produktum csökkenést.

A folyamatok összetettsége miatt az aridifikációs kutatásokban érdemes törekedni a szintézis alapú gyakorlati javaslatok megfogalmazására, amelyben a vegetációmunka használatát már több ingyenes, nagy felbontású távérzékelési adatbázis-szolgáltatás is támogatja. Eredményeink a távérzékelési adatszolgáltatás minőségi javulásának is köszönhetők.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

A kutatást az Interreg-IPA Magyarország-Szerbia Határon Átnyúló Együttműködési Program keretében és az Európai Unió

társfinanszírozásával (IPA) megvalósuló HUSRB/1602/11/0057 WATERatRISK projekt támogatta.

Irodalomjegyzék:

- Ahl, D.E. – Stith, T.G. – Sean, N.B. – Nikolay, V.S. – Myneni, R.B. – Knyazikhin, Y. 2006. Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. *Remote Sensing of Environment* 104, pp. 88–95. DOI: [10.1016/j.rse.2006.05.003](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.05.003)
- Bannari, A. – Morin, D. – Bonn, F. – Huete, A.R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13, pp. 95–120. DOI: [10.1080/02757259509532298](https://doi.org/10.1080/02757259509532298)
- Blanka, V. – Ladányi, Zs. – Mezősi, G. 2014. A jövőben várható klímaváltozás a régióban. In: Blanka, V. – Ladányi, Zs. (szerk.): *Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban*. SZTE, Természeti Földrajzi Tanszék Szeged, pp. 142–151.
- Czucz, B., Molnár, Zs., Horváth, E. – Botta-Dukát, Z. 2008. The natural capital index of Hungary. *Acta Botanica Hungarica* 50 (Suppl.1), pp. 161–177. DOI: [10.1556/ABot.50.2008.Suppl.8](https://doi.org/10.1556/ABot.50.2008.Suppl.8)
- Farkas, J. – Rakonczai, J. – Hoyk, E. 2015. Környezeti, gazdasági és társadalmi éghajlati sérülékenységi esettanulmány a Dél-Alföldről. *Tér és Társadalom* 29 (1), pp. 149–174. DOI: [10.17649/tet.29.1.2675](https://doi.org/10.17649/tet.29.1.2675)
- Fiala, K. – Blanka, V. – Ladányi, Zs. – Szilassi, P. – Benyhe, B. – Dragan, D. – Pálfi, I. 2014. Drought severity and its effect on agricultural production in the Hungarian-Serbian cross-border area. *Journal of Environmental Geography* 7 (3–4), pp. 43–51. DOI: [10.2478/jengeo-2014-0011](https://doi.org/10.2478/jengeo-2014-0011)
- Gulácsi, A. – Kovács, F. 2018. Drought monitoring of forest vegetation using MODIS-based normalized difference drought index in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 67 (1), pp.29–42, DOI: [10.15201/hungeobull.67.1.3](https://doi.org/10.15201/hungeobull.67.1.3)
- Hmimina, G. – Dufrêne, E. – Pontalier, J.-Y. – Delpierre, N. – Aubinet, M. – Caquet, B. – De Grandcourt, A. – Burban, B. – Flechard, C. – Granier, A. – Gross, P. – Heinesch, B. – Longdoz, B. – Moureaux, C. – Ourcival, J.-M. – Rambal, S. – Saint André, L. – Soudani, K. 2013. Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: an investigation using ground-based NDVI measurements. *Remote Sensing of Environment* 132, pp. 145–158. DOI: [10.1016/j.rse.2013.01.010](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.010)
- Huete, A. – Didan, K. – Miura, T. – Rodriguez, E.P. – Gao, X. – Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83, pp. 195–213. DOI: [10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Hunkár, M. – Vincze, E. – Németh, Á. 2013. Tavasz felmelegedés néhány vadnövény fenológiai reagálásában. *Légtér* 58 (3), pp. 98–105.
- Kovács, F. 2012. A klímaváltozás földrajzi hatásainak értékelése távérzékelési módszerekkel. In: Nyári, D. (szerk.) *Kockázat – Konfliktus – Kihívás*. SZTE TFGT, Szeged, pp. 444–452.
- Kovács, F. – van Leeuwen, B. – Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Gulácsi, A. 2017. Regionális léptékű aszálymonitoringot

- támogató vegetáció- és talajnedvesség értékelés MODIS adatok alapján. *Földrajzi Közlemények* 141 (1), pp. 14–29.
- Kristóf, D. – Pataki, R. – Neidert, D. – Nagy, Z. – Pintér, K. 2007. Integrating temporal and spectral information from low-resolution MODIS and high-resolution optical satellite images: two Hungarian case studies. *Proceedings of SPIE*, Vol. 6742. DOI: [10.1117/12.739474](https://doi.org/10.1117/12.739474)
- Ladányi, Zs. – Blanka, V. 2014. Az aszály és a biomassza produkció kapcsolata In.: Blanka, V. – Ladányi, Zs. (szerk.) Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban. SZTE TFGT, Szeged, pp. 103–110.
- Lakatos, M. – Bihari, Z. – Szentimrey, T. 2014. A klímaváltozás magyarországi jelei. *Légekör* 59 (4), pp. 158–163.
- Liu H.Q.; Huete A.R. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33, pp.457–465. DOI: [10.1109/36.377946](https://doi.org/10.1109/36.377946)
- Lunetta, R.S. – Knight, J.F. – Ediriwickrema, J. – Lyon, J.G. – Worthy, L.D. 2006. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment* 105 (2), pp. 142–154. DOI: [10.1016/j.rse.2006.06.018](https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.06.018)
- Mátyás, Cs. – Führe, E. – Berki, I. – Csóka, Gy. – Drüsler, Á. – Lakatos, F. – Mórincz, N. – Rasztovcics, E. – Somogyi, Z. – Veperdi, G. – Vig, P. – Gálos, B. 2010. Erdők a szárazsági határon. *Klíma-21 Füzetek*, 61. pp. 84–97.
- Menzel, A. – Sparks, T.H. – Estrella, N. – Koch, E. – Aasa, A. – Ahas, R. – Alm-Kübler, K. – Bissolli, P. – Braslavskaja, O. – Briede, A. – Chmielewski, F.-M. – Crepinsek, Z. – Curnel, Y. – Dahl, A. – Defila, C. – Donnelly, A. – Filella, Y. – Jactzak, K. – Mage, F. – Mestres, A. – Nordli, O. – Penuelas, J. – Pirinen, P. – Remisova, V. – Scheffinger, H. – Striz, M. – Susnik, A. – van Vliet, A.J.H. – Wielgolaski, F.-E. – Zach, S. – Züst, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12 (10), pp. 1969–1976. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x)
- Mórincz, N. – Berki, I. – Rasztovcics, N. 2011. A Nagyalföld erdeinek állapota és hatásuk a talajvízszintre. In: Rakonczai, J. (szerk.) *Környezeti változások és az Alföld*. Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba. pp. 119–126.
- Nemzeti Vidékstratégia 2012–2020. Vidékfejlesztési Minisztérium, p. 126. <http://videkstrategia.kormany.hu/download/4/37/30000/Nemzeti%20Vid%C3%A9kstrat%C3%A9gia.pdf> (utolsó letöltés 2018.06.28.)
- Rakonczai, J. – Deák J.Á. – Ladányi, Zs. – Fehér, Zs. 2012. A klímaváltozás és tájváltozás kapcsolata alföldi mintaterületeken. In.: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. – Pál-Molnár, E. (szerk.) *Sokarcú klímaváltozás*, GeoLittera, Szeged, pp. 37–62.
- Rakonczai, J. – Fehér, Zs. 2015. A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvízkészleteinek időbeli változásaiban. *Hidrológiai Közlemények* 95 (1), pp. 1–15.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Scheel, J.A.; Deering, D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In.: *Proceedings, 3rd ERTS Symposium* 1, pp. 48–62.
- Solano, R. – Didan, K. – Jacobson, A. – Huete, A. 2010. MODIS vegetation index user's guide (MOD13 Series) p. 42. https://vip.arizona.edu/documents/MODIS/MODIS_VI_UsersGuide_01_2012.pdf (utolsó letöltés: 2018.06.28.)
- Szabó, B. – Vincze, E. – Czúcz, B. 2016. Flowering phenological changes in relation to climate change in Hungary. *International Journal of Biometeorology* 60, pp. 1347–1356. DOI: [10.1007/s00484-015-1128-1](https://doi.org/10.1007/s00484-015-1128-1)
- Szalai, S. – Auer, I. – Hiebl, J. – Milkovich, J. – Radim, T. – Stepanek, P. – Zahradnick, P. – Bihari, Z. – Lakatos, M. – Szentimrey, T. – Limanowka, D. – Kilar, P. – Cheval, S. – Deak, Gy. – Mihic, D. – Antolovic, I. – Mihajlovic, V. – Nejedlik, P. – Stastny, P. – Mikulova, K. – Nabyvanets, I. – Skyrky, O. – Krakovskaya, S. – Vogt, J. – Antofie, T. – Spinoni, J. 2012. Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report.
- Szilágyi, J. – Vörösmarty, C. 1993. A Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata, *Vízügyi Közlemények*, 75 (3), pp. 280–294.
- van Leeuwen, W.J.D. – Orr, B.J. – Marsh, S.E. – Herrmann, S.M. 2006. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment* 100, pp. 67–81. DOI: [10.1016/j.rse.2005.10.002](https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.002)
- Varga, Z. – Varga-Haszonits, Z. – Enzsölné Gerencsér, E. – Lantos, Zs. – Milics, G. 2012. A fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) fejlődésének bioklimatológiai elemzése. *Acta Agronomica Óváriensis* 54 (1), pp. 35–52.
- Völgyesi, I. 2006. A homokhátság felszínalatti vízháztartása. Vízpótlási és visszatartási lehetőségek. In: *XXIV. Országos Vándorgyűlés Kiadványa*. Pécs. pp. 1–12.
- Xin, Q. – Olofsson, P. – Zhu, Z. – Tan, B. – Woodcock C.E. 2013. Toward near real-time monitoring of forest disturbance by fusion of MODIS and Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 135, pp. 234–247. DOI: [10.1016/j.rse.2013.04.002](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.002)

Summary

Due to the complexity of the climate change induced processes, efforts should be made to formulate practical proposals based on synthesis, in which the use of vegetation monitoring is supported by free remote sensing database services. The forest ecosystem is a particularly important climatic indicator factor. In our study area, Danube-Tisza Interfluve in Hungary the proportion of the forests is high and the afforestation is intense. For the geographic evaluation of climate change, MOD13Q1 NDVI/EVI data in the summer period of 2000–2017 were investigated.

In the whole VI series the biomass does not show any trend change in neither of the forest categories. Reduction in biomass is typical for consecutive drier years, but a

subsequent wet season is sufficient for the woody biomass product to avoid a decrease over the longer term. In the main dry periods of July–August, the effect of dry year following the rainy years immediately reduces the green biomass. Based on climate predictions, a permanent decrease rate in biomass is expected in the future. The changes in the vegetation period were also well-assessed in the relatively short 18-year data series, such as a change in spring intensity or an increase in summer biomass product. For example, mixed forests not only shows growth in the spring, but also at the highest summer values. The deciduous characteristic is the decrease in the maximum biomass production. Currently, the changes over the almost two decades are compensated, but forests are vulnerable within a short period of time. According to the standardized EVI anomalies, in consecutive years with significant biomass differences, production in the north and southwest part of the Danube-Tisza Interfluve was reduced.

The determination coefficients between VI data and CARPATCLIM drought index data show strong relationship ($R^2 \sim 0.85$). This connection is confirmed by the LANDSAT OLI VI data from 2015 as well.

Kulcsszavak: erdőmonitoring, EVI, klímaváltozás, MODIS, NDVI

Keywords: EVI, climate change, forest monitoring, MODIS, NDVI



Dr. Kovács Ferenc
egyetemi
adjunktus

Szegedi Tudományegyetem Természeti
Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
kovacs@geo.u-szeged.hu



Gulácsi András
doktorandusz

Szegedi Tudományegyetem
Földtudományi Doktori Iskola
guland@protonmail.com